

有色金属老矿区二轮找矿中地球物理新方法的应用研究

杨 剑

(广东有色地质勘查局 940 队, 清远市 511533)

摘 要 本文论述了由瞬变电磁法(TEM)测得的异常绘制深度视电阻率断面图和等标高视电阻率平面图, 建立地下三维地电空间, 并根据老矿区已掌握的地质规律及成矿模式, 归纳出深部构造及矿体的 TEM 异常识别标志, 达到寻找具有一定深度的盲矿体的目的。这种方法并在湖南水口山铅锌金矿田的二轮找矿中得到实际验证。

关键词 二轮找矿 瞬变电磁法 探测深度

目前, 我国有很多有色金属老矿山面临着矿藏储量危急, 而这些矿山已具有一批素质较高的工人和专业技术队伍、形成了较好的开采和处理矿石的能力与设施, 如果能在这些老矿区及其外围找到新矿体, 其效益和意义都是十分巨大的。老矿区的地质工作程度一般都很高, 浅部易于发现的矿体基本上都已被发现, 要寻找的是有一定深度的盲矿体。虽然物探是寻找盲矿体的有效手段之一, 但常规的电法、磁法很难达到较大的探测深度, 尤其是很难区分具有一定深度的矿致异常和非矿异常。而瞬变电磁法(TEM)是近年发展起来的一种新的物探方法, 具有探测深度大、信息丰富、工效高等特点^[1]。本文就此方法应用于模式找矿作一探讨, 即根据老矿区已摸清的地质规律及成矿模式, 利用 TEM 资料查明地下三维地电构造, 探测成矿有利空间, 达到寻找盲矿体的目的。

湖南水口山铅锌金矿田是驰名中外的老矿山。近年来, 在二轮找矿中投入了 100 km² 以上的 TEM 法面积性工作, 获得了丰富的资料。本文从瞬变电磁理论出发, 提出利用 TEM 资料绘制深度视电阻率断面图和等标高视电阻率平面等值线图的新方法, 建立三维地电分布空间; 并根据矿田地质地球物理特征, 归纳出深

部隐伏构造的异常识别标志, 寻找成矿有利空间, 探测深部盲矿体。

1 矿田地质和地球物理概况

1.1 地质概况

水口山矿田是湘南地区一个重要的铅锌金银多金属成矿区, 已有近百年开采历史, 矿田位于湘南耒阳-临武南北褶皱断裂带北端, 衡阳盆地南缘, 地层出露从泥盆系锡矿山组至白垩系神皇山组, 其中泥盆系至三叠系以海相沉积的碳酸盐为主, 有少量的浅海相及海陆交互相砂岩、砂页岩含煤建造, 侏罗系至白垩系为陆相沉积的砂岩、砂页岩、砾岩, 矿田北部被数百米厚的白垩系红色砂页岩(通称“红层”)覆盖。矿田构造为一系列的南北向构造和新华夏系构造。数十个不同规模的中性或中偏酸性岩体侵入或喷出于石炭系-白垩系地层中, 并受倒转背斜和断裂的控制, 形成一系列岩浆期中温热液矿床。其成矿规律是: ①二叠系栖霞组、当冲组及侏罗系高家田组底砾岩层为主要容矿地层; ②砂页岩、超覆火成岩、硅质岩是对矿液扩散起屏蔽作用的主要岩石; ③矿田 I、II 级断裂是导岩、导矿构造, II、III 级倒

转背斜和Ⅲ级以下的断裂是控岩控矿的主要构造, 简称为“背斜加一刀”的模式。

1.2 地球物理概况

瞬变电磁法, 应用的物性前提是电阻率的差异^[2]。通过对矿田有关地层及火成岩的电性统计, 瞬变电磁响应的视电阻率 ρ_r 由低到高的规律是: 白垩系东井组 (K_{1d}) 最低、20~45 Ωm , 二叠系斗岭组 P_{2dl} 小于 70 $\Omega \cdot m$, 侏罗系高家田组 (J_{1g}) 70 Ωm 左右, 二叠系当冲组 (P_{1d}) 100~200 Ωm , 花岗闪长岩 150~200 Ωm , 二叠系栖霞组 (P_{1q}) 约为 200 Ωm , 三叠系大冶群 (T_{1d}) 200~300 Ωm , 石炭系壶天群 (C_{2+3}) 大于 250 Ωm 。

矿田北部数百米厚的“红层”多年来是找矿的一大障碍。但“红层”与其下伏的各种地层存在着明显的电性差异, 只要 TEM 法能达到一定的探测深度, 则这一差异就成为查明“红层”基底及其下伏地质构造的物性前提。成矿有利地层的当冲组、栖霞组与其接触的斗岭组存在电性差异是查明深部构造和找矿的有利条件。

2 工作方法

2.1 矿田投入的 TEM 工作方法

水口山矿田二轮找矿使用的 TEM 法, 利用地矿部物化探研究所研制的 WDC-1 型瞬变电磁系统, 采用 200m×200m 的重叠回线装置, 发射 4~6 A、脉宽 20 ms 的矩形脉冲电流; 在一次场断电间隙采样 18 道, 直接输出各测道的二次电位值和视电阻率值。

2.2 瞬变电磁响应的时空特性

众所周知, 脉冲瞬变电磁法发射回线中的稳定电流切断后将在下半空间产生一感应涡流场, 并向下、向外扩散, 涡流在空间和时间上的变化结果, 使收回线引起感应电动势:

$$\epsilon(t) = \mu_0^{5/2} M / (20\pi^{3/2} \rho^{3/2} t^{5/2}) \quad (1)$$

式中 M 为发射磁矩 (即发射电流与发射回线面积之积), ρ 为介质电阻率, μ_0 磁导率 ($4\pi \times 10^{-7} H/m$), t 为延时。一次场断开后的涡流场能用一简单的等效涡流环来表示, 向下传播的

速度为^[2]

$$V = (2\mu_0 t / \rho)^{1/2} \quad (2)$$

在某一深度 h 处的涡流环需象二次“发射回线”一样激励起二次电磁场返回到地面。因此, 涡流环的深度与地面接收到二次场的时间 t (各测道的延时) 的关系为

$$2h = \int_0^t V dt = \int_0^t (2\mu_0 t / \rho)^{1/2} dt$$

$$h = (\rho t / 2\mu_0)^{1/2} \quad (3)$$

式(3)表达了在延时 t 接收的是 h 深处等效涡流环激励的二次场。

在非均匀大地的实际情况下, 电阻率 ρ 应为视电阻率 ρ_r , 由式(1)、(3)可得某一测道的视电阻率 ρ_r 和所反映的深度 h 的表达式:

$$\rho_r = \mu_0^{6/3} / (20^{2/3} \pi \epsilon^{2/3} t^{5/3}) \quad (4)$$

于是有:

$$h = (\rho_r t / 2\mu_0)^{1/2} \quad (5)$$

式(5)的物理意义是: 延时 t 观测的视电阻率 ρ_r 是 h 深处的综合电阻率, h 处岩矿石电阻率贡献最大, 离 h 处越远的岩矿石电阻率影响越小。本文称此深度 h 为探测深度。

2.3 探测深度的讨论

瞬变电磁法中延时越晚的测道探测深度越大, 但究竟有多大, 根据前面讨论, 可以定量计算, 即将每一测道的延时 t 和视电阻率 ρ_r 代入式(5)便可求得每一测道的探测深度。

(1) 初始探测深度

第 1 测道 (最早延时) 的探测深度即为初始探测深度, 如果要分辨比此深度更浅的地电体, 只需将第 1 测道的采样时间提前即可。如地下电阻率为 50 Ωm , 第 1 测道的采样时间为 0.4 ms, 代入式(5)求得初始探测深度为 90 m。若要分辨更浅的地电体, 就需将第 1 测道的采样时间提前。通过调节第 1 测道采样时间的早晚, 就可满足不同性质的地质问题对初始探测深度的要求。

(2) 最大探测深度

最大探测深度即为最末有效测道的探测深度, 同样由式(5)可以直接求得。

为讨论最大探测深度, 需联解式(4)、

(5), 得

$$h = 0.28(M\rho_r/\epsilon(t))^{1/5}$$

将某测点上的最小可分辨信号 V_m (即有效最末测道的观测值) 替代上式中 $\epsilon(t)$, 则得最大探测深度 h_{\max} , 即

$$h_{\max} = 0.28(M\rho_r/V_m)^{1/5} \quad (6)$$

可见, 最大探测深度与发射磁矩 M 及电阻率 ρ 的 $1/5$ 次方成正比, V_m 为噪声电平与最低限度信噪比之积, 与天然干扰电平、仪器噪声电平等因素有关。

在某一测区欲达到多大的探测深度, 可直接由式(6)计算求得要设计发射多大的电流和布设多大面积的发射回线。

通过对水口山矿田已施工资料的统计, 最大探测深度平均为 770 m, 常见范围为 600~950 m。要想在该区达到 2 000 m 的探测深度, 根据计算, 要布设 400 m × 400 m 的发射回线, 供电电流需要 30~40 A。

3 TEM 异常图示新方法

人们一般按测道作电位剖面图、以延时为纵坐标绘制视电阻率断面图、按测道绘制视电阻率平面图等来图示 TEM 资料。为了更好地建立三维地电空间, 除了绘制上述图件外, 本文提出绘制以深度为纵坐标的视电阻率断面图和地下等标高视电阻率平面图的新方法。

3.1 深度视电阻率断面图

视电阻率的概念已延用了近百年, 人们总希望得到近似实际地电深度断面的视电阻率数据, 但仍然只能用供电极距 AB 或者延时频率为纵坐标绘制的视电阻率拟断面图。根据前面讨论, 笔者认为可以用深度为纵坐标来勾绘视电阻率断面图, 其要点是: 由式(5)算得每一测点每一测道的深度 h , 由于深度 h 与视电阻率 ρ_r 一一对应(如表 1), 将各测点各测道的 ρ_r 值按深度 h 点写在断面图上, 便可勾绘出深度-视电阻率断面图(如图 1)。

3.2 等标高视电阻率平面图

迄今为止, 大都是按延时测道绘制 TEM 视电阻率平面图。根据式(5)可知, 同一测道即同一延时 t 在不同测点的探测深度是不同的, 那么按测道绘制的视电阻率平面图, 反映的不是某一平面的电性情况, 而是不同深度的一个曲面。因此, 本文提出按深度绘制地下等标高视电阻率平面图。

在一系列深度视电阻率断面图上, 用内差法可取得等深度(或等标高)的视电阻率数据, 将这些数据点在平面图上, 即可绘制等标高平面等值线图(图 2)。

多种深度的等标高视电阻率平面图和一系列

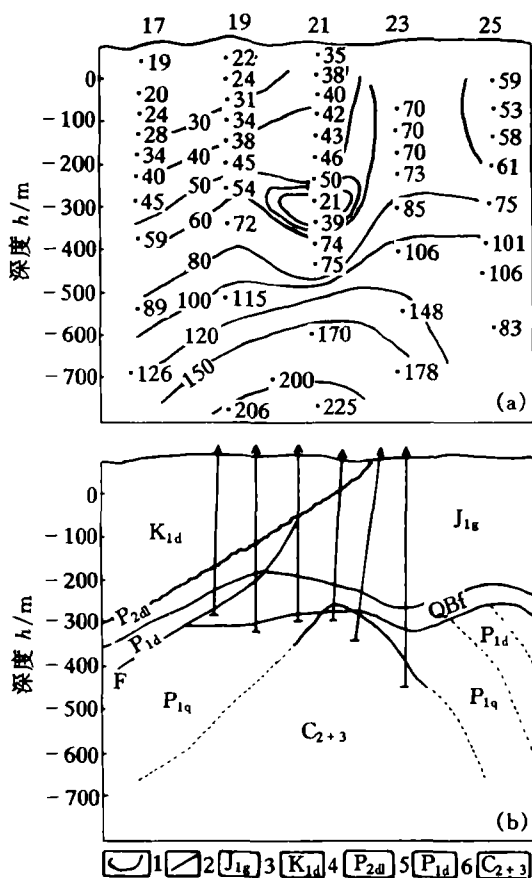


图 1 ××测线 ρ_r 断面(a)与地质剖面(b)对比图

- 1— ρ_r 等值线; 2—铅锌银矿体;
3—侏罗系高家田组; 4—白垩系东井组;
5—二叠系斗岭组; 6—二叠系当冲组;
7—石炭系壶天群

表 1 某测点上各延时(t)测道视电阻率(ρ_r)、深度(h)计算成果对照表

测道	t/ms	二次电位/ μV	$\rho_r/\Omega\text{m}$	h/m
1	0.40	2.14×10^4	52	91
2	0.50	1.37×10^4	48	98
3	0.65	7.30×10^3	47	110
4	0.85	3.66×10^3	48	127
5	1.10	1.79×10^3	50	148
6	1.40	8.86×10^2	54	173
7	1.70	4.87×10^2	58	198
8	2.14	2.48×10^2	62	230
9	2.70	1.26×10^2	65	264
10	3.50	6.03×10^1	70	312
11	4.50	2.82×10^1	76	369
12	5.55	1.43×10^1	84	431
13	6.80	7.31×10^0	94	504
14	8.20	3.85×10^0	105	585
15	9.78	2.33×10^0	110	654
16	11.54	1.68×10^0	104	691
17	13.48	1.19×10^0	101	736
18	15.60	8.01×10^{-1}	103	800

深度视电阻率断面图,构成了三维地电分布空间,对查明地下隐伏构造和盲矿体极其直观明了。

4 隐伏构造异常识别标志

由深度视电阻率断面图和等标高视电阻率平面图建立的三维地电空间,直观地反映了地下三维地电构造,象水口山矿田“背斜加一刀”的构造模式及其成矿有利空间的异常标志,经归纳有如下规律:

4.1 断裂构造

(1) 狭窄线性低阻异常带是岩层挤压破碎含水断裂的标志。

(2) 若异常沿走向有突然间断和再现,其间断处是区域断裂的一种标志。

(3) 异常沿某个方向的突变带,是反映沿该方向断裂的一种标志。

(4) 两侧异常对称分布的轴线部位是反映张性断裂的一种标志。

4.2 隐伏褶皱构造

深度视电阻率断面图等值线的起伏特征,

基本上就是褶皱构造的形态,具有“正相关”特点。

(1) 二叠系斗岭组地层下的隐伏背斜

二叠系斗岭组是一套砂页岩含煤建造,电阻率低,极化率高,一直是直流电法的干扰源。其下伏的当冲组、栖霞组是成矿有利地层,具有高阻特性。隐伏背斜在断面图上表现为高阻隆起异常(如图 1),在平面图上出现中间高阻两侧低阻的长轴异常。

(2) 三叠系大冶群地层下的隐伏背斜

三叠系大冶群相对于下伏的二叠系斗岭组属高阻地层,在 ρ_r 断面上呈现高阻-低阻-高阻特征。在较小深度的 ρ_r 平面图上呈现中间低阻两侧高阻的长轴异常。在较大深度的 ρ_r 平面图上出现中间高阻两侧低阻的长轴异常,此深度上背斜轴部属当冲组、栖霞组地层。

(3) 白垩系“红层”下的隐伏构造

白垩系“红层”的电阻率是全区最低的,与下伏任何地层都存在一个电性界面,因此“红层”基底的深度及起伏状况可以根据 ρ_r 断面的等值线特征结合已知钻孔资料确定。如图 1 中,45 Ωm 的等值线则是“红层”基底线。在有效探测深度范围内,下伏的构造可据前述方法推测。

5 应用效果

利用 TEM 断面图和平面图建立三维地电空间来探测深部隐伏构造和盲矿体的方法,已应用于水口山矿田的二轮找矿,所获 TEM 资料均绘制了深度视电阻率断面图和 -100 m、-200 m、-300 m、-500 m、-700 m 标高的视电阻率平面图。从以下两个例子可说明其应用效果较好。

5.1 低阻覆盖层下寻找盲矿体

图 1 是水口山矿田某测线上深度视电阻率断面与地质剖面对比图,数百米厚的低阻覆盖层 K_{1d} 下隐伏着铅锌金盲矿体。由图可见,“红层” K_{1d} 的厚度可由 45 Ωm 等值线的深度来确定。“红层”下的隐伏背斜在 ρ_r 断面图上反映



图2 测区等标高平面等值线图

1— ρ_a 等值线；2—大冶组；3—斗岭组；4—当冲组；5—栖霞组；6—壶天群(a)—地质略图；(b)—100 m ρ_a 平面图；(c)—300 m ρ_a 平面图；(d)—500 m ρ_a 平面图

十分清晰。铅、锌矿体引起的低阻异常在深度上吻合很好。视电阻率等值线几乎就是构造线。

5.2 寻找深部隐伏成矿有利空间

图2是水口山矿田南部石坳岭区-100 m、-300 m、-500 m三个不同标高的视电阻率平面图。与地质图对比可以看出：-100 m标高的平面图上，视电阻率等值线的基本轮廓与地质界线相吻合，测区西部75 Ω m等值线很好地反映了蓬塘地段二叠系斗岭组(P_{2dl})地层的界线，石头基-梅子塘-易头的三叠系大冶群(T_{1d})大片高阻地层在电阻率平面上亦有相当明显的反映，东面的 P_{2dl} 低阻地层反映更是清晰，马王塘-马土皂高阻背斜与视电阻率等值线的位置相差无几。再看-300 m标高视电阻率平面图，据钻探资料，该区三叠系大冶群(T_{1d})的厚度为300~400 m，下伏斗岭组(P_{2dl})为低阻砂页岩。-300 m标高 ρ_a 平面上在原 T_{1d} 高阻区

域，正好呈现了斗岭组低阻异常分布，显然符合在此深度(实际深度400 m左右)上已经剥去了 T_{1d} 高阻层的客观实际。天子坟-石坳岭依然是 P_{2dl} 低阻层的反映，高阻背斜轮廓依然存在。再往下，-500 m标高 ρ_a 平面，测区西部仍然是 P_{2dl} 低阻异常反映。测区东部古来冲和石坳岭出现了两个中间高阻(大于75 Ω m)两侧低阻的长轴异常带，高阻是二叠系当冲组、栖霞组的反映，说明马王塘-马土皂背斜，向北北东倾伏，在古来冲和石坳岭分成了两个次级隐伏背斜。可推测该区古来冲和梅子塘是深部盲矿体赋存的有利空间。

参考文献

- 1 Brian R Spies(著). 各种电磁测深法的勘探深度. 北京:《物探化探译丛》编辑部, 1990.
- 2 牛之珪等(编). 脉冲瞬变电磁法及应用. 长沙:中南工业大学出版社, 1986.

(编辑 赖海辉)